



Practitioner's Docket No.: 061063-0306275  
Client Reference No.: OSP-14940

**PATENT**

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In re application of: TAKEHIRO  
YOSHIDA

Confirmation No: 8407

Application No.: 10/679,508

Group No.:

Filed: October 7, 2003

Examiner:

For: SPECTROSCOPE, CONFOCAL OPTICAL SYSTEM USING THE SAME, AND  
SCANNING MICROSCOPE

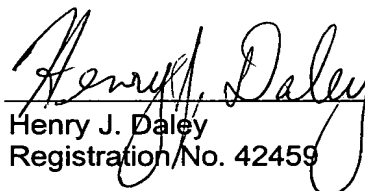
**Commissioner for Patents**  
**P.O. Box 1450**  
**Alexandria, VA 22313-1450**

**SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT**

Attached please find the certified copy of the foreign application from which priority is  
claimed for this case:

<u>Country</u>	<u>Application Number</u>	<u>Filing Date</u>
JAPAN	2002-296329	10/9/2002

Date: June 15, 2004  
PILLSBURY WINTHROP LLP  
P.O. Box 10500  
McLean, VA 22102  
Telephone: (703) 905-2000  
Facsimile: (703) 905-2500  
Customer Number: 00909

  
Henry J. Daley  
Registration No. 42459

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日            2 0 0 2 年 1 0 月    9 日  
Date of Application:

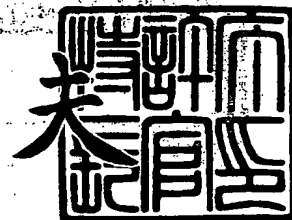
出 願 番 号            特 願 2 0 0 2 - 2 9 6 3 2 9  
Application Number:  
[ST. 10/C] :            [ J P 2 0 0 2 - 2 9 6 3 2 9 ]

出    願    人            オ リ ン パ ス 光 学 工 業 株 式 会 社  
Applicant(s):

2 0 0 3 年 1 0 月    6 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康



【書類名】 特許願

【整理番号】 02P01645

【提出日】 平成14年10月 9日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G01J 3/18

【発明の名称】 分光器およびこれを用いた共焦点光学系、走査型光学顕微鏡

【請求項の数】 10

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都渋谷区幡ヶ谷 2 丁目 4 3 番 2 号 オリnbas 光学工業株式会社内

    【氏名】 吉田 剛洋

【特許出願人】

    【識別番号】 000000376

    【氏名又は名称】 オリnbas 光学工業株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100106909

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 棚井 澄雄

【代理人】

    【識別番号】 100064908

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 志賀 正武

【選任した代理人】

    【識別番号】 100101465

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 青山 正和

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100094400

【弁理士】

【氏名又は名称】 鈴木 三義

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100086379

【弁理士】

【氏名又は名称】 高柴 忠夫

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100118913

【弁理士】

【氏名又は名称】 上田 邦生

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 008707

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0207288

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 分光器およびこれを用いた共焦点光学系、走査型光学顕微鏡

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 複数の波長を含んだ発散光を出射する出射端と、該出射端から出射された発散光を略平行光にする第 1 の光学系と、該第 1 の光学系により略平行光になった光束を分光する分光素子と、該分光素子により分光された光束を焦点面近傍に集光する第 2 の光学系とを備え、該第 2 の光学系は、軸外光束に対しても前記複数の波長について収差が補正されている分光器。

【請求項 2】 複数の波長を含んだ発散光を出射する出射端と、該出射端から出射された発散光を略平行光にする第 1 の光学系と、該第 1 の光学系により略平行光になった光束を分光する分光素子と、該分光素子により分光された光束を焦点面近傍に集光する第 2 の光学系とを備え、該第 2 の光学系は、複数のレンズから構成されている分光器。

【請求項 3】 前記第 2 の光学系は、焦点距離が正であるレンズと負であるレンズを少なくとも 1 枚ずつ含んで構成され、該焦点距離が正であるいずれかのレンズと負であるいずれかのレンズのアッベ数をそれぞれ  $\nu_+$  および  $\nu_-$  としたとき、以下の関係を満たす請求項 2 に記載された分光器。

【数 1】

$$\nu_+ - \nu_- > 25$$

【請求項 4】 前記分光素子が反射型平面回折格子であって、以下の関係を満たす請求項 2 または請求項 3 に記載された分光器。

【数 2】

$$0 < \frac{2.44 \cos \alpha}{NmD} < 0.04$$

ただし、 $\alpha$  は、反射型平面回折格子に入射する光束の入射角、 $N$  は、反射型平面回折格子の単位長さ当たりの格子本数、 $m$  は、回折次数、 $D$  は、第 1 の光学系を透過した後の光束直径である。

【請求項 5】 複数の波長を含んだ発散光を出射する出射端と、該出射端か

ら出射された発散光を略平行光にする第1の光学系と、該第1の光学系により略平行光になった光束を分光する分光素子と、該分光素子により分光された光束を焦点面近傍に集光する第2の光学系とを備え、前記第1の光学系が負の焦点距離をもつ第1のレンズ群と正の焦点距離をもつ第2のレンズ群とから構成されている分光器。

【請求項6】 光源と、該光源から発した光を標本上に集光させる対物レンズと、該標本からの反射光もしくは該標本から発生した蛍光を分光する分光器と、該分光器と標本との間に該標本と光学的に共役な点を設けた共焦点光学系であって、該分光器が請求項1から請求項5のいずれかに記載された分光器である共焦点光学系。

【請求項7】 光源と、該光源から発した光を標本上に集光させる対物レンズと、該光源と対物レンズとの間に配置され、前記標本上に集光された光点を光学的に走査させる光偏向器と、該光偏向器と前記対物レンズとの間に配置され、該光偏向器と対物レンズの瞳とを互いに光学的に共役とする瞳投影光学系と、該光偏向器と分光器との間で前記標本と光学的に共役な位置に配置され、実質的に点光源である共焦点ピンホールとを備え、前記分光器が請求項1から請求項5のいずれかに記載された分光器である走査型光学顕微鏡。

【請求項8】 光源と、該光源から発した光を標本上に集光させる対物レンズと、該光源と対物レンズとの間に配置され、前記標本上に集光された光点を光学的に走査させる光偏向器と、該光偏向器と前記対物レンズとの間に配置され、該光偏向器と対物レンズの瞳とを互いに光学的に共役とする瞳投影光学系と、該光偏向器と分光器との間で前記標本と光学的に共役な位置に配置されたシングルモードファイバの入射端を有し、該シングルモードファイバの出射端が前記分光器の点光源であって、前記分光器が請求項1から請求項5のいずれかに記載された分光器である走査型光学顕微鏡。

【請求項9】 以下の関係を満たす請求項7または請求項8に記載された走査型光学顕微鏡。

## 【数 3】

$$\Delta \lambda < 20nm$$

ただし、 $\Delta \lambda$ は波長 $\lambda$ の光と波長 $(\lambda + \Delta \lambda)$ の光を分離するための波長分解能である。

【請求項 10】 以下の関係を満たす請求項 7 または請求項 8 に記載された走査型光学顕微鏡。

## 【数 4】

$$\Delta \lambda < 5nm$$

ただし、 $\Delta \lambda$ は波長 $\lambda$ の光と波長 $(\lambda + \Delta \lambda)$ の光を分離するための波長分解能である。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 【発明の属する技術分野】

本発明は、分光器およびこれを用いた共焦点光学系、走査型光学顕微鏡に関する。

## 【0002】

## 【従来の技術】

従来、この種の分光器としては、特開平 11-183249 号公報に記載されたようなものがある。この構成を図 10 に示す。図 10 から、この分光器においては、光ファイバから射出された発散光が第 1 のレンズで平行光とされる。平行光は、回折格子により回折され特定の波長の光のみが第 2 のレンズに導かれる。そして、第 2 のレンズで集光された光が出力スリットを通過して検出される。なお、回折格子を回転させることにより、検出する光の波長を変更することができる（例えば、特許文献 1 参照。）。

## 【0003】

また、他の従来技術としては、特開 2002-122787 号公報に記載されたスペクトル選択装置がある。この構成を図 11 に示す。このスペクトル選択装

置は、予め定められたスペクトル領域を選択する手段を備え、スペクトル分解された光線と検出装置が互いにこれらの相対位置を可変できる構造になっている（例えば、特許文献2参照）。

**【0004】****【特許文献1】**

特開平11-183249号公報（段落番号0021-0028、第1図）

**【特許文献2】**

特開2002-122787号公報（段落番号0006-0028、第1図）

**【0005】****【発明が解決しようとする課題】**

しかし、波長 $\{\lambda \mid \lambda_1 < \lambda < \lambda_2\}$ を一度に検出するためには、例えば、特開平11-183249号公報に示されたタイプのものでは、出力スリットを幅の広いものに変更する必要がある。このとき、スリット端部に集光する波長 $\lambda_1$ の集光スポットが良好である保証はないため、 $(\lambda_1 - \Delta\lambda)$ の集光スポットも十分に小さなものでない可能性がある。また、この場合、 $(\lambda_1 - \Delta\lambda)$ の集光スポットの一部がスリットの内側に位置し、その成分がスリットを通過するため波長分解能が良くないという問題がある。なお、 $0 < \Delta\lambda \ll \lambda_1$ であり、波長分解能が悪い場合、良い場合の波長に対する検出光量を図12（a）、（b）に示す。

**【0006】**

また、特開2002-122787号公報に示されたタイプのものでは、光束を平行光のまま分光して集光せずに検出器に導く構成となっているため、近接した波長成分が完全に分離されることなく、混ざったまま検出されてしまう。すなわち、 $(\lambda_1 - \Delta\lambda)$ や $(\lambda_2 + \Delta\lambda)$ の光の一部がともに検出されてしまうという問題がある。

**【0007】**

さらに、特開平11-183249号公報に記載された分光器においては、波長分解能を上げるための方法として第1のレンズと第2のレンズとの間の平行光



束の太さを太くする方法がある。この方法は、第2のレンズのNA（開口数）を大きくする必要がある。そのため、第2のレンズによって集光されたスポット径は小さくなり、その結果として分解能が上がるというものである。

#### 【0008】

ここで、平行光束の太さを太くするためには、第1のレンズを焦点距離の長いものとするか、あるいは出射ファイバのNAを大きくする必要がある。しかし、前者の場合には、レンズを焦点距離の長いものに変更することにより出射ファイバからレンズまでの距離が長くなり、装置が大きくなるという問題がある。また、後者の場合には、出射ファイバとレンズとの位置決め精度が厳しくなるという問題もある。

#### 【0009】

そこで、本発明は、上述した問題点に鑑みてなされたものであって、その第1の目的は波長分解能が高い分光器を提供することである。また第2の目的は、不必要に光学素子の配置精度を上げることなく、装置全体をコンパクトに構成できる分光器およびこれを用いた共焦点光学系、走査型光学顕微鏡を提供することである。

#### 【0010】

##### 【課題を解決するための手段】

前記課題を解決するため、本発明は、以下の手段を提案している。

請求項1に係る発明は、複数の波長を含んだ発散光を出射する出射端と、該出射端から出射された発散光を略平行光にする第1の光学系と、該第1の光学系により略平行光になった光束を分光する分光素子と、該分光素子により分光された光束を焦点面近傍に集光する第2の光学系とを備え、該第2の光学系は、軸外光束に対しても前記複数の波長について収差が補正されている分光器を提案している。

#### 【0011】

この発明によれば、第2の光学系により光軸外の複数の波長についても収差が補正されているため、波長 $\{\lambda \mid \lambda_1 < \lambda < \lambda_2\}$ を一度に検出するためにスリット幅を広げたとしても、 $\lambda_1$ および $\lambda_2$ において良好なスポットを得ることができる。

。したがって、このような構成によれば、波長分解能の高い分光器を実現することができる。なお、出射端は、レンズにより集光されたスポット、あるいはそのスポット位置に配置された開口（スリットやピンホール）、光ファイバー端面などがある。あるいは、その開口や光ファイバーの端面の面積が十分小さい、いわゆる実質的な点光源が出射端になる。

#### 【0012】

請求項2に係る発明は、複数の波長を含んだ発散光を出射する出射端と、該出射端から出射された発散光を略平行光にする第1の光学系と、該第1の光学系により略平行光になった光束を分光する分光素子と、該分光素子により分光された光束を焦点面近傍に集光する第2の光学系とを備え、該第2の光学系は、複数のレンズから構成されている分光器を提案している。

この発明によれば、第2の光学系は複数のレンズから構成されているため、これらを組み合わせることにより、軸外の色収差を良好に補正することができる。

#### 【0013】

請求項3に係る発明は、請求項2に記載された分光器について、前記第2の光学系は、焦点距離が正であるレンズと負であるレンズを少なくとも1枚ずつ含んで構成され、該焦点距離が正であるいずれかのレンズと負であるいずれかのレンズのアッベ数をそれぞれ $v_+$ および $v_-$ としたとき、以下の関係を満たす分光器を提案している。

#### 【数5】

$$v_+ - v_- > 25$$

#### 【0014】

この発明によれば、焦点距離が正であるレンズと負であるレンズはこの条件を満足するアッベ数を有しているので、これらのレンズを組み合わせることにより、第2の光学系がアクロマートレンズを一枚含む構成となる。したがって、アクロマートレンズの作用により、軸上の色収差はもとより軸外の色収差も良好に補正できる。

#### 【0015】

請求項 4 に係る発明は、請求項 2 または請求項 3 に記載された分光器について、前記分光素子が反射型平面回折格子であって、以下の関係を満たす分光器を提案している。

【数 6】

$$0 < \frac{2.44 \cos \alpha}{NmD} < 0.04$$

ただし、 $\alpha$  は、反射型平面回折格子に入射する光束の入射角、 $N$  は、反射型平面回折格子の単位長さ当たりの格子本数、 $m$  は、回折次数、 $D$  は、第 1 の光学系を透過した後の光束直径である。

【0016】

波長  $\lambda$  の光と波長  $(\lambda + \Delta \lambda)$  の光を分離できる波長分解能を  $\Delta \lambda$  とすると、次の【数 7】の関係が成立する。

【数 7】

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} > \frac{2.44 \cos \alpha}{NmD}$$

これは、第 2 の光学系において、十分に色収差の発生が抑えられていることを条件として、第 2 の光学系を通過した後、集光された波長  $\lambda$  および  $(\lambda + \Delta \lambda)$  のスポットが重ならないための条件を示している。すなわち、【数 7】の右辺の項は、分光器の波長分解能を表す一つの指標である。一方で、現在の生物系 LSM (LSM: Laser Scanning Microscopy) において、蛍光波長 (約 500 nm) を分離するのに用いられる吸収フィルタの波長分解能は 10 nm から 20 nm である。したがって、この発明によれば、上記関係式を満足することにより、現在の生物系 LSM に用いられる吸収フィルタと同程度の波長分解能をもつ分光器を実現することができる。

【0017】

請求項 5 に係る発明は、複数の波長を含んだ発散光を出射する出射端と、該出射端から出射された発散光を略平行光にする第 1 の光学系と、該第 1 の光学系により略平行光になった光束を分光する分光素子と、該分光素子により分光された光束を焦点面近傍に集光する第 2 の光学系とを備え、前記第 1 の光学系が負の焦

点距離をもつ第1のレンズ群と正の焦点距離をもつ第2のレンズ群とから構成されている分光器を提案している。

#### 【0018】

この発明によれば、前記第1の光学系を負の焦点距離をもつ第1のレンズ群と正の焦点距離をもつ第2のレンズ群とから構成することにより、いわゆるテレフォトタイプとなり、点光源からレンズ最終面までの距離が焦点距離よりも短くなる。また、このとき、点光源からの出射のNAは同じであるため、位置決め精度はそのまま、他の同じ焦点距離を持つ光学系と比較してレンズ系の全長が短くなる。したがって、これにより装置全体をコンパクトにすることができる。

#### 【0019】

請求項6に係る発明は、光源と、該光源から発した光を標本上に集光させる対物レンズと、該標本からの反射光もしくは該標本から発生した蛍光を分光する分光器と、該分光器と標本との間に該標本と光学的に共役な点を設けた共焦点光学系であって、該分光器が請求項1から請求項5のいずれかに記載された分光器である共焦点光学系を提案している。

#### 【0020】

この発明によれば、共焦点光学系を構成する光検出部に、波長分解能に優れた請求項1から請求項5のいずれかに記載された分光器を用いたため、ノイズの少ない分光が可能になる。例えば、蛍光染色した細胞を細い水流に流し、レーザ照射により得られる蛍光や散乱光を解析することにより、細胞絶対数や粒子サイズ等の細胞の性質を解析するフローサイトメータに分光機能を持たせた装置を実現することができる。

#### 【0021】

請求項7に係る発明は、光源と、該光源から発した光を標本上に集光させる対物レンズと、該光源と対物レンズとの間に配置され、前記標本上に集光された光点を光学的に走査させる光偏向器と、該光偏向器と前記対物レンズとの間に配置され、該光偏向器と対物レンズの瞳とを互いに光学的に共役とする瞳投影光学系と、該光偏向器と分光器との間で前記標本と光学的に共役な位置に配置され、実質的に点光源である共焦点ピンホールとを備え、前記分光器が請求項1から請求

項5のいずれかに記載された分光器である走査型光学顕微鏡を提案している。

#### 【0022】

この発明によれば、走査型光学顕微鏡を構成する分光器に、波長分解能に優れた請求項1から請求項5のいずれかに記載された分光器を用いたため、任意の波長を選択して検出を行ったり、同一点から異なる波長帯の信号を検出する走査型光学顕微鏡を実現することができる。

#### 【0023】

請求項8に係る発明は、光源と、該光源から発した光を標本上に集光させる対物レンズと、該光源と対物レンズとの間に配置され、前記標本上に集光された光点を光学的に走査させる光偏向器と、該光偏向器と前記対物レンズとの間に配置され、該光偏向器と対物レンズの瞳とを互いに光学的に共役とする瞳投影光学系と、該光偏向器と分光器との間で前記標本と光学的に共役な位置に配置されたシングルモードファイバの入射端を有し、該シングルモードファイバの出射端が前記分光器の点光源であって、前記分光器が請求項1から請求項5のいずれかに記載された分光器である走査型光学顕微鏡を提案している。

#### 【0024】

この発明によれば、このような構成にすることにより、走査顕微鏡部と分光器部とを近接配置する必要がないため、配置の自由度が高く、しかも分光機能を有する走査型光学顕微鏡を実現することができる。

#### 【0025】

請求項9に係る発明は、請求項7または請求項8に記載された走査型光学顕微鏡について、以下の関係を満たす走査型光学顕微鏡。

#### 【数8】

$$\Delta \lambda < 20nm$$

ただし、 $\Delta \lambda$ は波長 $\lambda$ の光と波長 $(\lambda + \Delta \lambda)$ の光を分離するための波長分解能である。

この発明によれば、波長分解能を20nmよりも小さい条件としたことから、現在、生物系LSMに用いられている吸収フィルタと同程度の波長分解能をもつ

装置を実現することができる。

【0026】

請求項10に係る発明は、請求項7または請求項8に記載された走査型光学顕微鏡について、以下の関係を満たす請求項7または請求項8に記載された走査型光学顕微鏡。

【数9】

$$\Delta\lambda < 5nm$$

ただし、 $\Delta\lambda$ は波長 $\lambda$ の光と波長 $(\lambda + \Delta\lambda)$ の光を分離するための波長分解能である。

この発明によれば、波長分解能を5nmよりも小さい条件としたことから、接近する2つの波長を、より正確に分離することが可能となる。よって、例えば蛍光観察を行う装置では、蛍光波長の近い蛍光色素も使用することができる。すなわち、より多くの種類の蛍光色素を使用することができる。

【0027】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施形態に係る分光器およびこれを用いた共焦点光学系、走査型光学顕微鏡について図1から図10を参照して詳細に説明する。

本発明の実施形態に係る分光器は、図1より、ピンホール1と、第1の光学系2と、平面回折格子3と、第2の光学系4と、可変幅スリット5と、光検出器6と、ダイクロックミラー7とから構成されている。

【0028】

ピンホール1を透過した発散光は、第1の光学系2により略平行光に変換されて、平面回折格子3に入射する。なお、ピンホール1を透過し発散する光束が、実質的に点光源から発散された光束としてみなすことができるピンホールの径は、ピンホール1を透過し発散する光線のNAと波長によって決められる。なお、第1の光学系2の数値データは後述の表1（面番号2と3）に記載されている。また、この数値データに基づく形状は図4に示されている。

【0029】

平面回折格子 3 はその表面に溝が形成され、溝と略平行な軸に対して回転可能に構成されている。このような構成により、第 2 の光学系 4 の光軸と平行となる波長  $\lambda_0$  を選択することができる。平面回折格子 3 により回折され分光された波長  $\lambda_0$  の光束は、第 2 の光学系 4 の光軸と平行なまま第 2 の光学系 4 に入射する。第 2 の光学系 4 においては、その前側焦点位置付近に平面回折格子 3 が配置されている。

#### 【0030】

第 2 の光学系 4 に入射した各波長の光束は、略テレセントリックとなって射出する。そして、第 2 の光学系 4 の後側焦点位置付近において、それぞれの波長の光束が第 2 の光学系 4 の光軸に垂直な面内に集光される。また、可変幅スリット 5 は、前記の集光位置に配置され、その後方には、光検出器 6 が配置されている。ここで、本実施形態に係る第 2 の光学系 4 の結像性能は十分良好になっており、特に色収差が良好に補正されている。具体的な例は図 5 に示されている。図 5 に示されているように、第 2 の光学系 4 は、複数（ここでは 2 枚）のレンズで構成されている。ここでは、負レンズと正レンズとからなる接合レンズになっている。このような構成により、スリット位置にできる各波長の集光スポットは十分に小さくなっている。よって、 $\Delta\lambda$  が小さい場合であっても、 $\lambda_1$  と  $(\lambda_1 - \Delta\lambda)$  とのスポットが重なることなく、分離することができる。なお、第 2 の光学系 4 の数値データは後述の表 1（面番号 5～7）に記載されている。

#### 【0031】

可変幅スリット 5 のスリット幅は、 $\lambda_1$  のスポットをスリットから透過させ、 $(\lambda_1 - \Delta\lambda)$  のスポットをスリットで遮断するように調整される。同様に、反対側についても、 $\lambda_2$  のスポットは透過させ、 $(\lambda_2 + \Delta\lambda)$  のスポットをスリットで遮断するようにスリットの位置が決められている。したがって、このとき、光検出器 6 で検出される波長は、 $\lambda_1$  から  $\lambda_2$  までとなる。このように、設定できる波長の範囲は、平面回折格子 3 の回転角と可変幅スリット 5 の幅を調整することにより自由に決めることができる。

#### 【0032】

以下に、本実施形態に係る第 1 の実施例について、レンズデータ（表 1 参照）

、を示す。

【表 1】

単位: mm

面番号	曲率半径	間隔	$n_d$	$v_d$
1	$\infty$	133		
2	$\infty$	3.1	1.5168	67.166
3	-70.027	*		
4(反射回折面)	$\infty$	24.1		
5	16.53	2.63	1.5638	60.798
6	-10.88	2.5	1.6726	32.209
7	-39.8	22.6		
8(可変スリット面)	$\infty$			

\*部は任意の長さ

本実施例においては、ピンホール 1 を透過し発散する光線の NA は 0.011 である。また、第 1 の光学系の焦点距離が 135 mm であるため、第 1 の光学系を透過した後、略平行光となった光束の径 D は、 $\phi 3$  mm である。さらに、回折面の溝本数は 600 本/mm、第 1 の光学系の光軸と第 2 の光学系の光軸のなす角は 40 度であり、回折格子の溝方向はこの 2 本の光軸のどちらとも垂直の関係にある。

### 【0033】

これらの条件のときに、回折格子の回転角（回折面への光線の入射角）と、第 2 の光学系の光軸に平行に向う波長  $\lambda_0$  との関係は[表 2]のようになる。また、波長  $\lambda_0$  を変化させたときの第 2 の光学系により集光されたスポットの直径（ここでは波動光学的に 90% のエネルギーを包含する領域の直径として計算を行った。）と、波長が 1 nm 変わったときのスポットの位置ずれ量の関係は[表 3]のようになる。



【表 2】

回転角 (度)	波長 $\lambda_0$ (nm)
7	704.62
8	651.24
9	597.67
10	543.92
11	490
12	435.93
13	381.27
14	327.42

【表 3】

$\lambda_0$ (nm)	スポット直径( $\mu$ m)			スポット位置ずれ/1nm ( $\mu$ m)
	$\lambda_0-50$	$\lambda_0$	$\lambda_0+50$	
380		16.8	16.1	16.9
420	16.8	14.8	17.5	16.9
460	14.7	16.1	18.4	17
500	16.9	17.7	19.6	17.1
540	17.8	19.8	21.4	17.3
580	18.8	22.4	23.6	17.4
620	20.3	25.3	26.2	17.5
660	22.3	28.7		17.7
680	23.5	30.3		

## 【0034】

図2は、波長  $(\lambda_0-1)$ 、 $\lambda_0$ 、 $(\lambda_0+1)$  nmで直径  $20 \mu$ mのスポットを有する光束が  $18 \mu$ mずつずれて並んでいる様子を示している。これによれば、波長  $\lambda_0$  nmの光束と波長  $(\lambda_0+1)$  nmの光束とはスポットが重なって分離することができないが、波長  $(\lambda_0-1)$  nmの光束と波長  $(\lambda_0+1)$  nmの光束とではスポットの重なりがないために分離できることが分かる。したがって、

この場合の波長分解能 $\Delta\lambda$ は、1 nmよりも大きく2 nmよりも小さいことがわかる。

### 【0035】

また、本実施例において、平面回折格子3に入射する光束の入射角 $\alpha$ 、平面回折格子3の単位長さ当たりの格子本数 $N$ 、回折次数 $m$ 、第1の光学系を透過したのちの光束直径 $D$ がそれぞれ、 $\alpha = 9^\circ$ 、 $N = 600$ 本/mm、 $m = 1$ 、 $D = 3$  mmとして、これを以下の[数10]に代入すれば、本実施例がこの条件を満たすことがわかる。

### 【数10】

$$0 < \frac{2.44 \cos \alpha}{NmD} = \frac{2.44 \times 0.9877}{600 \times 1 \times 3} = 1.33 \times 10^{-3} < 0.04$$

### 【0036】

なお、上記においては、光学系に色収差の発生がない場合を仮定して示したが、一般には、収差が発生してしまう。したがって、これを考慮すると、第2の光学系を通過したあと、スリット位置にできる波長 $\lambda_1$ の集光スポット直径（なお、ここでは波動光学的に90%のエネルギーを包含する領域の直径とする。）を $d_1$ としたとき、以下の[数11]を満足すれば $\lambda_1$ と $(\lambda_1 - \Delta\lambda)$ との波長を分離することができる。

### 【数11】

$$d_1 < \frac{Nmf}{\cos \beta} \Delta \lambda$$

ここで、 $\Delta\lambda$ は波長 $\lambda$ の光と波長 $(\lambda - \Delta\lambda)$ の光を分離できる波長分解能を、 $\beta$ は反射型平面回折格子に入射する光束の出射角を、 $N$ は反射型平面回折格子の単位長さあたりの格子本数を、 $m$ は回折次数を、 $f$ は第2の光学系の焦点距離を示す。

### 【0037】

また、波長分解能 $\Delta\lambda$ を先に決定し、上記[数11]を満足するような第2の光

光学系を構成すれば、波長分解能 $\Delta\lambda$ の分光器が実現できる。さらに、波長 $\lambda_2$ の集光スポット直径を $d_2$ とすると、[数11]の $d_1$ を $d_2$ に置き換えることにより、波長 $\lambda_2$ の光と $(\lambda_2 + \Delta\lambda)$ の光を分離することができる。なお、第2の光学系を構成する[表1]の第5-6面の接合レンズは、[数1]の関係を満たしている。

### 【0038】

次に、本発明の実施形態に係る第2の実施例について説明する。第2の実施例にかかる分光器は、第1の実施例において、第1の光学系([表1]の面番号2から3)を以下の[表4]のレンズに置き替えて構成されている。すなわち、本実施例においては、第1の光学系を負の焦点距離をもつ第1のレンズ群と正の焦点距離をもつ第2のレンズ群とから構成することにより、いわゆるテレフォトタイプとなり、点光源からレンズ最終面までの距離が焦点距離よりも短くなっている。したがって、本実施例によれば、第1の実施例において、ピンホール1から第1の光学系最終面までの距離が136.1mmであったものを、焦点距離や光学的な結像性能をほとんど変えることなく60mm以上縮めることができる。

【表4】

単位: mm

面番号	曲率半径	間隔	$n_d$	$v_d$
11	$\infty$	56.8		
12	55.412	1	1.7552	27.511
13	6.101	8.7		
14	59.904	3.5	1.4875	70.235
15	-10.454	*		

\*部は任意の長さ

### 【0039】

次に、図3を参照して第3の実施例について説明する。

第3の実施例にかかるレーザ走査型顕微鏡は、光源501と、ビームエキスパンダ502と、ビームスプリッタ503と、光偏向器504、505と、瞳伝送光学系506、瞳投影光学系507と、対物レンズ508と、標本509と、コ

ンフォーカルレンズ 514 と、共焦点ピンホール 515 と、分光器（第 1 の実施例に示された分光器）516 とから構成されている。

#### 【0040】

レーザ光源 501 を出射した光線は、ビームエキスパンダ 502 により適当な径の光束となり光偏向器 504 により偏向される。偏向された光束は瞳伝送光学系 506、第 2 の光偏向器 505、瞳投影光学系 507 および対物レンズ 508 を通り、標本 509 上を走査されて標本 509 を励起する。標本 509 から発せられた蛍光は光学系を先程とは逆に進行し、デスキャンされてビームスプリッタ 503 に入射する。

#### 【0041】

ビームスプリッタ 503 で偏向された蛍光成分は、コンフォーカルレンズ 514 に入射し集光されて分光器 516 内のピンホール 1 を通る。ピンホール 1 を通った蛍光は分光器 516 内において、点光源として用いられる。本実施例においては、分光器として第 1 の実施例で説明した分光器を用いているため、これによって、分光機能を備えたレーザ走査型顕微鏡を構成することができる。

#### 【0042】

次に、図 7 を参照して第 4 の実施例について説明する。

第 4 の実施例にかかるレーザ走査型顕微鏡は、標本としてフローサイトメータ用の標本 510 を用いた例である。

レーザ光源 501 を出射した光線は、ビームエキスパンダ 502 により適当な径の光束となり対物レンズ 508 で集光されて標本 510 に照射される。標本 510 は、細胞あるいは染色体等の細胞成分を液体に浮遊させて、流体系の中を高速で通過させてある。

#### 【0043】

レーザ光により励起され標本 510 から発せられた蛍光は光学系を先程とは逆に進行し、ビームスプリッタ 503 に入射する。ビームスプリッタ 503 に入射した蛍光成分は偏向され、コンフォーカルレンズ 514 に入射し集光されて分光器 516 内のピンホール 1 を通る。ピンホール 1 を通った蛍光は分光器 516 内において、点光源として用いられる。本実施例においては、分光器として第 1 の

実施例で説明した分光器を用いているため、これによって、分光機能を備えたフローサイトメータを構成することができる。

#### 【0044】

次に、図8を参照して第5の実施例について説明する。

第5の実施例にかかるレーザ走査型顕微鏡は、第3の実施例に対して、コンフォーカルレンズ514と分光器516の間にシングルモードファイバ517を備えた構成となっている。したがって、光学的な作用はコンフォーカルレンズ514に光線が至るまでは、第3の実施例と同様である。コンフォーカルレンズ514で集光された光は、シングルモードファイバの入射端から入射し、出射端から射出される光が分光器516の点光源として機能している。

#### 【0045】

本実施形態においては、シングルモードファイバ517を備えたことから、入射端をコンフォーカルレンズ514の集光位置に、出射端を分光器516の点光源の位置に配置すれば、シングルモードファイバ517の長さを可変することにより、レーザ走査型顕微鏡と分光器との位置関係を自由に選択できるため、配置の自由度があり、かつ、分光機能を有したレーザ走査型顕微鏡を構成することができる。

#### 【0046】

次に、図9を参照して第6の実施例について説明する。

第6の実施例は2チャンネルの分光器を示したものである。この分光器は、図1に示した第1の光学系2と平面回折格子3との間にビームスプリッタ、偏光ビームスプリッタあるいはダイクロイックミラー7のいずれかひとつ若しくはこれに類するものを配置して光路を分割することにより構成されている。なお、分割された光路の先、すなわち、平面回折格子3から光検出器6までの構成は、図1と同様である。こうした構成とすることにより、2チャンネルの分光器を実現することができる。なお、本実施例の分光器を実施例3から5の分光器と置き換えて構成することもできる。

#### 【0047】

以上、図面を参照して本発明の実施の形態について詳述してきたが、具体的な

構成はこれらの実施の形態に限られるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲の設計変更等も含まれる。例えば、第1の実施例においては、ピンホールの径を光線のNA、光線の波長によって定めると説明したが、光学系を構成する各構成要素を勘案して、ピンホール径に自由度をもたせるように可変径ピンホールを用いてもよい。

#### 【0048】

また、第1の実施例および[表1]においては、第2の光学系を接合レンズとして説明したが、[数1]の要件を満たすものであれば、互いに隔たった2枚以上のレンズで構成してもよい。また、第4の実施例においては、分光器の光源をピンホールであるとして説明したが、ピンホールでなくとも構わない。

#### 【0049】

##### 【発明の効果】

以上のように、この発明によれば、分光素子により分光された光を集光する第2の光学系が光軸外においても複数の波長について収差が補正される構成となっているため、検波波長帯域が可変で波長分解能の高い分光器を構成することができる。また、点光源からの発散光を略平行光とする第1の光学系を負の焦点距離をもつレンズと正の焦点距離をもつレンズとで構成したことから、コンパクトで組立性のよい分光器を構成することができる。

##### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施例にかかる分光器の構成図である。

【図2】 異なる波長のスポットが位置をずらしながら並んでいる様子を表した模式図である。

【図3】 本発明の第3の実施例にかかる分光機能を有するレーザ走査型顕微鏡の構成図である。

【図4】 本発明の第1の実施例にかかる第1の光学系の断面図である。

【図5】 本発明の第1の実施例にかかる第2の光学系の断面図である。

【図6】 本発明の第2の実施例にかかる第1の光学系の断面図である。

【図7】 本発明の第4の実施例にかかる分光機能を有するフローサイトメータの構成図である。

【図 8】 本発明の第 5 の実施例にかかる分光機能を有するレーザ走査型顕微鏡の構成図である。

【図 9】 本発明の第 6 の実施例にかかる分光器の構成図である。

【図 1 0】 従来例にかかる分光器の構成図である。

【図 1 1】 従来例にかかるスペクトル選択装置の構成図である。

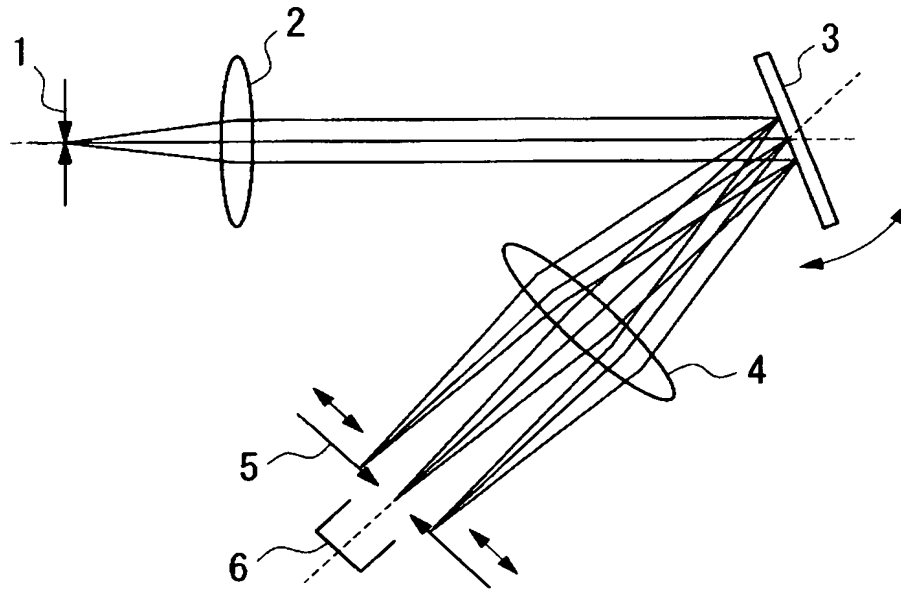
【図 1 2】 波長分解能が悪い状態、良い状態での光量を示す図である。

【符号の説明】

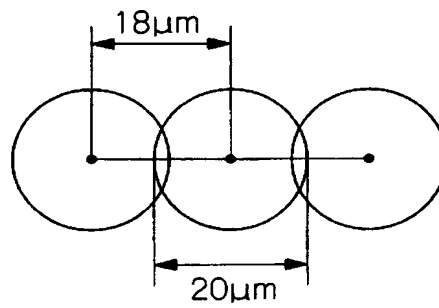
1・・・ピンホール、2・・・第 1 の光学系、3・・・平面回折格子、4・・・第 2 の光学系、5・・・可変幅スリット、6・・・光検出器、7・・・ダイクロイックミラー、5 0 1・・・光源、5 0 2・・・ビームエキスパンダ、5 0 3・・・ビームスプリッタ、5 0 4、5 0 5・・・光偏向器、5 0 6・・・瞳伝送光学系、5 0 7・・・瞳投影光学系、5 0 8・・・対物レンズ、5 0 9・・・標本、5 1 0・・・フローサイトメータ用の標本、5 1 4・・・コンフォーカルレンズ、5 1 5・・・共焦点ピンホール、5 1 6・・・分光器、5 1 7・・・シングルモードファイバ、

【書類名】 図面

【図 1】

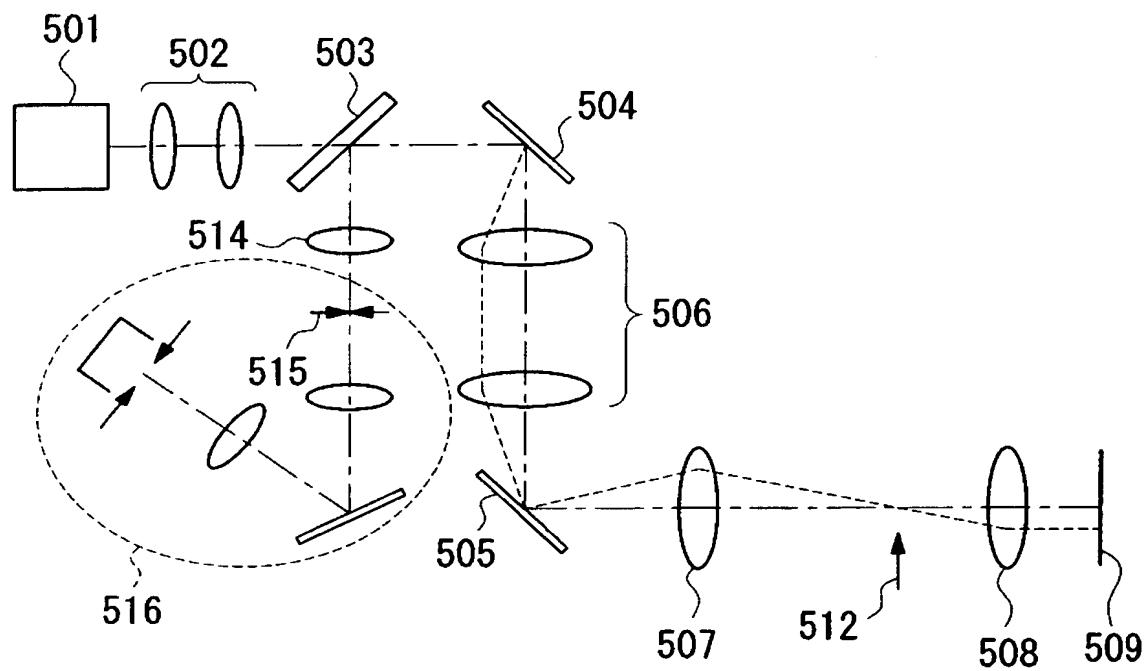


【図 2】

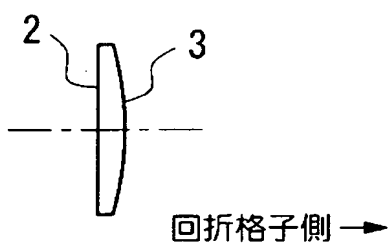




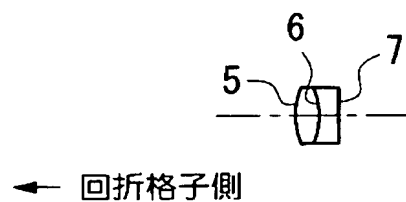
【図 3】



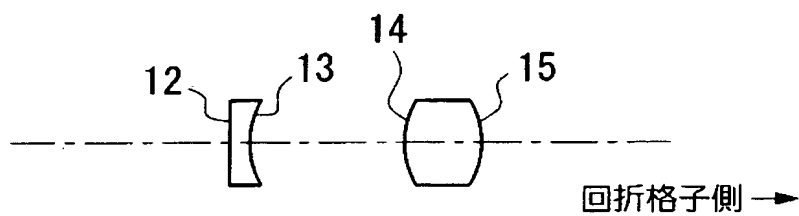
【図 4】



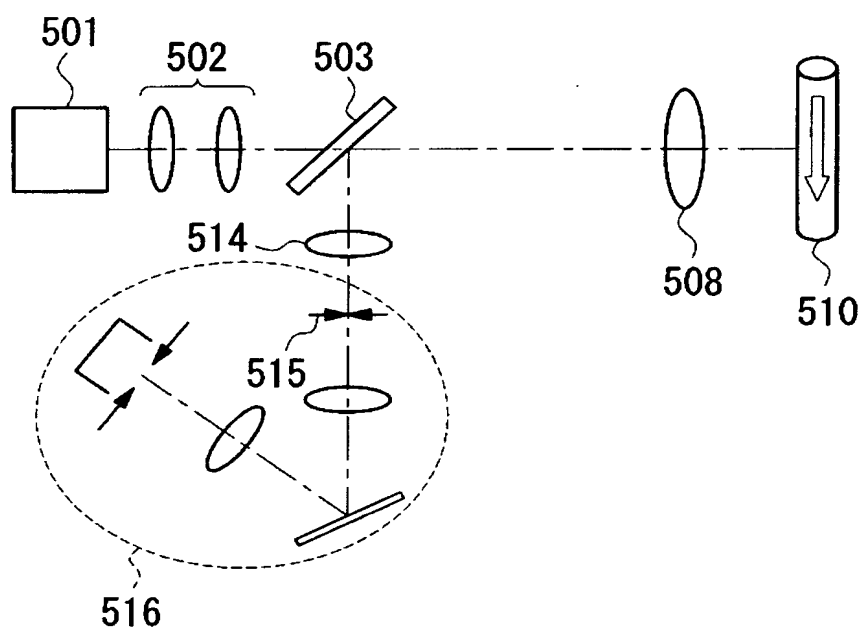
【図 5】



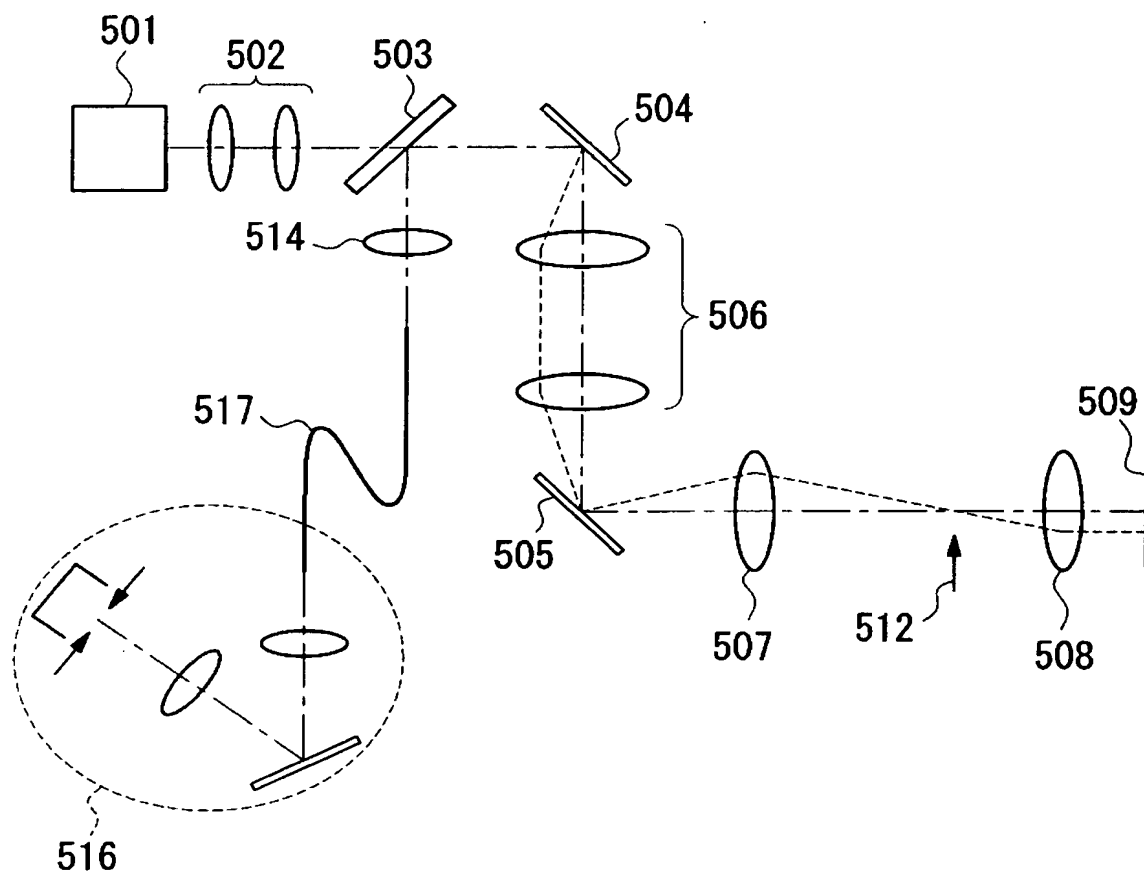
【図 6】



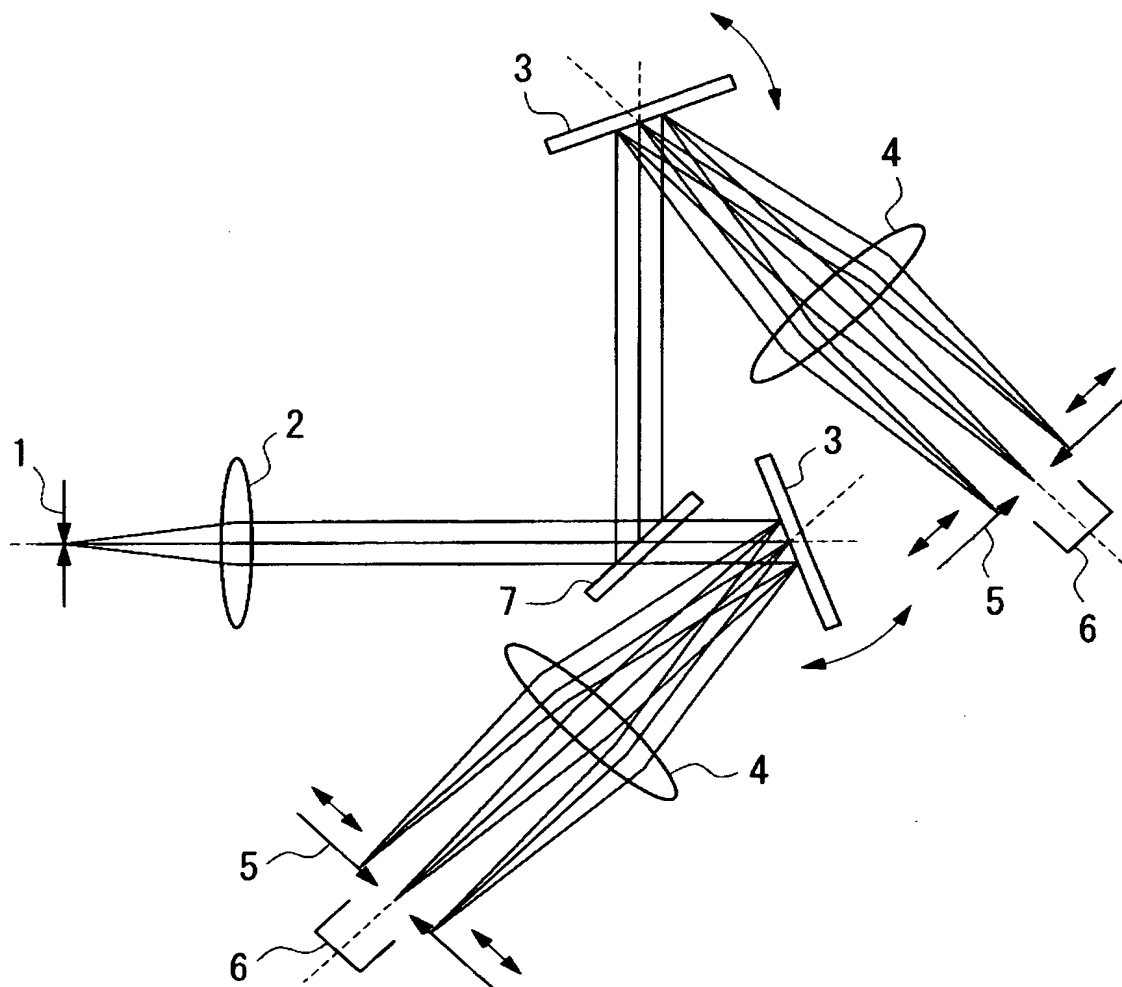
【図 7】



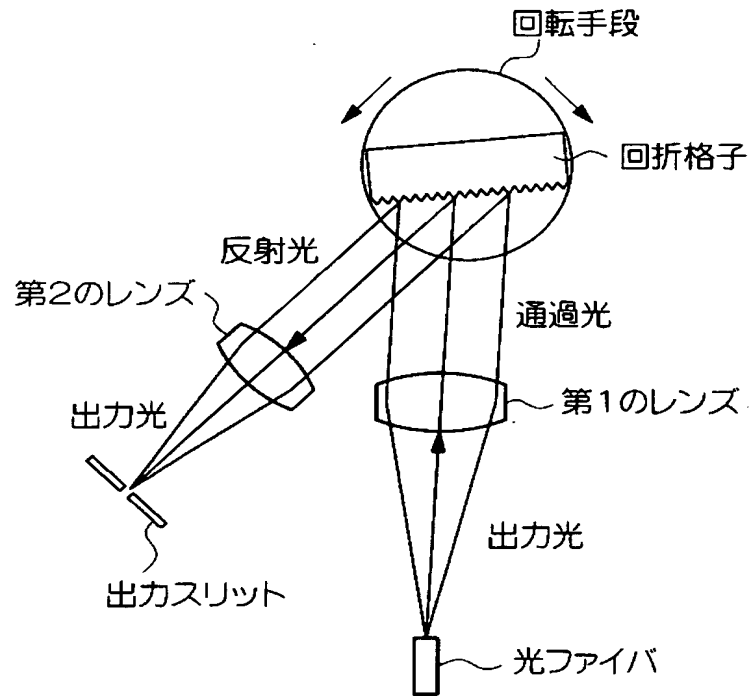
【図 8】



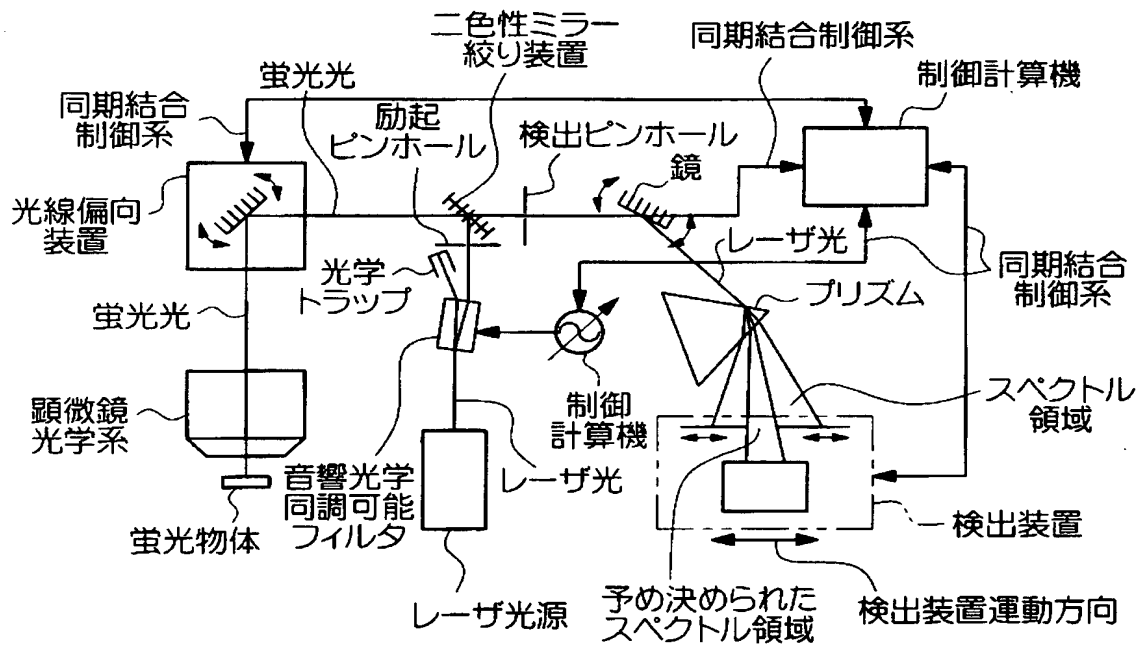
【図 9】



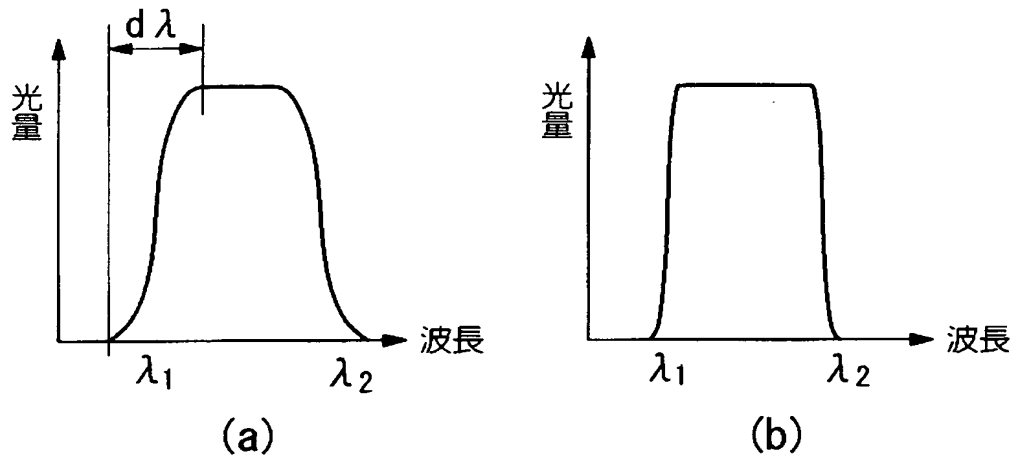
【図10】



【図11】



【図 12】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 波長分解能が高い分光器を提供することを目的とする。

【解決手段】 複数の波長からなる発散光を出射する実質的な点光源と、該点光源から出射された発散光を略平行光にする第 1 の光学系と、該第 1 の光学系により略平行光になった光束を分光する分光素子と、該分光素子により分光された光束を焦線近傍に集光する第 2 の光学系とを備えた分光器において、第 2 の光学系が光軸外においても前記複数の波長について収差が補正されるように構成することにより、波長分解能が高い分光器を提供する。

【選択図】 図 1

## 認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2002-296329
受付番号	50201522566
書類名	特許願
担当官	塩原 啓三 2404
作成日	平成14年10月22日

## &lt;認定情報・付加情報&gt;

## 【特許出願人】

【識別番号】	000000376
【住所又は居所】	東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号
【氏名又は名称】	オリンパス光学工業株式会社

## 【代理人】

申請人

【識別番号】	100106909
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場3-23-3 ORビル
【氏名又は名称】	棚井 澄雄

## 【代理人】

【識別番号】	100064908
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場3丁目23番3号 ORビル 志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】	志賀 正武

## 【選任した代理人】

【識別番号】	100101465
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場3丁目23番3号 ORビル 志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】	青山 正和

## 【選任した代理人】

【識別番号】	100094400
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場3丁目23番3号 ORビル 志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】	鈴木 三義

## 【選任した代理人】

【識別番号】	100086379
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場3丁目23番3号 ORビル 志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】	高柴 忠夫

次頁有



認定・付加情報（続き）

【選任した代理人】

【識別番号】 100118913

【住所又は居所】 東京都新宿区高田馬場 3 丁目 2 3 番 3 号 O R ビ  
ル志賀国際特許事務所

【氏名又は名称】 上田 邦生

次頁無

特願 2 0 0 2 - 2 9 6 3 2 9

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 0 3 7 6 ]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 0 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都渋谷区幡ヶ谷 2 丁目 4 3 番 2 号

氏 名

オリンパス光学工業株式会社